

«Сейфуллин оқулары – 18: « Жастар және ғылым – болашаққа көзқарас» халықаралық ғылыми -практикалық конференция материалдары = Материалы международной научно-практической конференции «Сейфуллинские чтения – 18: « Молодежь и наука – взгляд в будущее» - 2022.- Т.І, Ч.V. - С. 148-152

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ДОПОЛНИТЕЛЬНЫХ ПОТЕРЬ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИХ ПРОВОДНИКОВ, ВОЗНИКАЮЩИХ ПРИ ИЗГИБЕ**

*Искинеева А.С., магистрант 2 курса*

*Казахский агротехнический университет им. С.Сейфуллина , г. Нур-Султан*

В настоящее время волоконная оптика довольно интенсивно развивается и на протяжении уже многих лет растет дальность передачи сигналов, пропускная способность, скорость, надежность и другие параметры. Пока нет достаточной альтернативы ее использованию в системах передачи данных и измерительной технике. В связи с широкой распространенностью волоконно-оптических линий передачи (ВОЛП) сложилась проблема защиты информации, передаваемой по ним, а также есть необходимость повышения эффективности работы. Анализ возможных каналов утечки информации в результате несанкционированного доступа (НД) имеет первостепенное значение, необходимо совершенствовать методы и средства защиты ВОЛП [1]. Изначально ВОЛП имеют более высокую степень защищённости информации от несанкционированного доступа, по сравнению с коаксиальными кабелями связи и беспроводными системами передачи данных, это связано с физическими принципами распространения электромагнитной волны в световоде, которую невозможно перехватить, не нарушив процесс передачи данных. В оптическом волокне (ОВ) электромагнитная волна выходит за пределы волокна на расстояние не более длины волны при отсутствии внешнего воздействия на оптоволокно [2]. Это значит, что ОВ не излучает электромагнитные волны в окружающее пространство и информацию невозможно детектировать, как при передаче по медному кабелю, даже содержащему защитный экран. ОВ имеет на порядок меньший уровень затухания сигнала, по сравнению с другими направляющими системами передачи данных. Есть одна особенность при возникновении изгиба, часть оптической мощности световой волны или моды, распространяющейся по сердцевине ОВ, попадает в оболочку и покидает пределы границы раздела. Соответственно энергия световой волны или моды теряется при изгибе, чем меньше радиус, тем выше потери, а также чем больше количество изгибов, тем больше вносимые дополнительные потери. ОВ имеет диаметр 125 микрон и при растяжении имеет прочность, превышающую стальную нить аналогичного диаметра, но при изгибе меньше

допустимого угла, который устанавливается для каждого типа ОВ отдельно, в нем появляются трещины, что приводит к его разрушению. При механическом воздействии на ОВ возникает микроизгиб и фотоупругий эффект, при котором вносимые дополнительные потери увеличиваются. Методы считывания информации основаны на создании изгиба или микроизгиба и отвода части световой волны из сердцевины наружу. При этом нужно установить фотоприемник, который будет считывать информацию. В данном случае затухание сигнала достаточно трудно контролировать визуально, соответственно требуется разработка методов и автоматических средств контроля дополнительных потерь ВОЛП для повышения уровня защиты информации. Обычно затухание сигнала на длине световой волны длиной 1550 нм будет около 0,22 дБ/км, при возникновении изгиба появляются дополнительные потери, из-за чего затухание сигнала увеличивается.

В результате проведения литературного обзора, выяснилось, что наиболее важным является влияние изгибов ОВ на затухание сигнала и возникновения дополнительных потерь мощности излучения (моды) при передаче информации. Как сказано ранее, при изгибе ОВ появляются дополнительные потери энергии, которые можно зафиксировать, а значит построить автоматическую систему контроля. Эти потери быстро растут после достижения определенного критического радиуса изгиба, после преодоления которого ОВ может разрушиться, он составляет около 3-10 мм для разных типов волокон. Критический радиус очень мал (всего несколько миллиметров) у волокон с высокой числовой апертурой, тогда как допустимый радиус изгиба гораздо больше (часто десятки сантиметров) для волокон в одномодовом режиме с большой площадью поперечной моды. Установлено, что потери при изгибе возрастают при с увеличением длины волны, соответственно есть разница в потерях при 1310 и 1550 нм. Это обстоятельство будет учтено при проведении исследований. Увеличение потерь при изгибе волокна на больших длинах волн ограничивает диапазон пропускания одномодовых волокон.

Далее было изучено исследование, в котором определяли зависимость затухания от длины волны и радиуса изгиба. Для проведения практических опытов был разработан лабораторный стенд представленный на рисунке 1. Для измерения потерь в ОВ при множественных изгибах близких критического радиусу использовался оптический рефлектометр Yokogawa AQ1200E (Япония). Который является оптическим рефлектометром стандарта Optical Time Domain Reflectometer (OTDR) и используется в телекоммуникации для эксплуатационного анализа оптических кабельных сетей и в том числе установления величины дополнительных потерь (Рисунок 1).

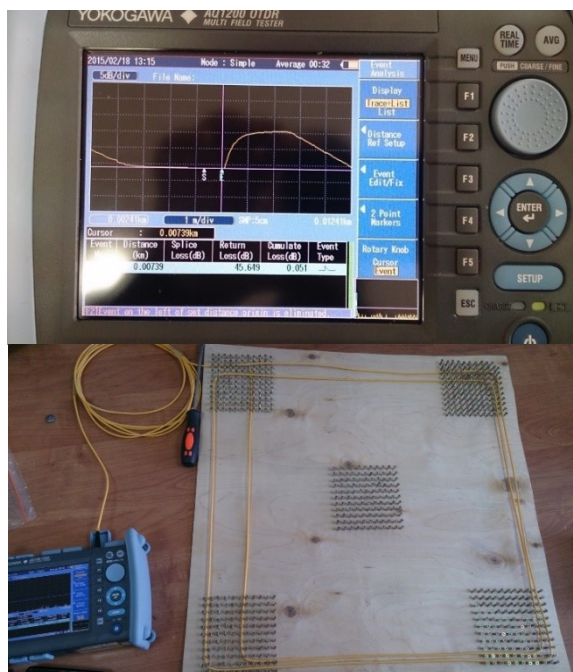


Рисунок 1 – Общий вид рефлектометра и стенда

Результатом измерения является усредненные показатели дополнительных потерь, вносимых различными устройствами соединения, местами сварки и изгиба. Данные измерения представлены виде численных значений мгновенных показаний и усредненных значений, а также рефлектограммы участка ВОЛП.

Результаты измерений вносились в таблицу и были обработаны при помощи компьютерной программы. Для того чтобы обеспечить достоверность результатов экспериментальных исследований необходимое число повторений устанавливается исходя из коэффициента  $K_{\text{вар}}$  и требуемой степени точности. Численное исследование проведено с помощью программы Wolframalpha. Данная программа представляет собой интерактивную систему, выполняющую обработку результатов экспериментов и ориентирована на работу с массивами данных. С использование лабораторного стенда представленного ранее на рисунке 1, были проведены эмпирические исследования дополнительных потерь, возникающих в одномодовом ОВ стандарта G-652 длиной 10 метров, с размерами сердцевины и оболочки 9/125 мкм. Использованы три длины волны оптического излучения составила 1310, 1550 и 1625 нм. Ниже представлен один из графиков результата экспериментов. На графике (рисунок 2) приведена зависимость роста дополнительных потерь при увеличении количества изгибов ОВ, длина волны 1310 нм. Количество углов изгиба составило 7, а их угол 90 градусов.

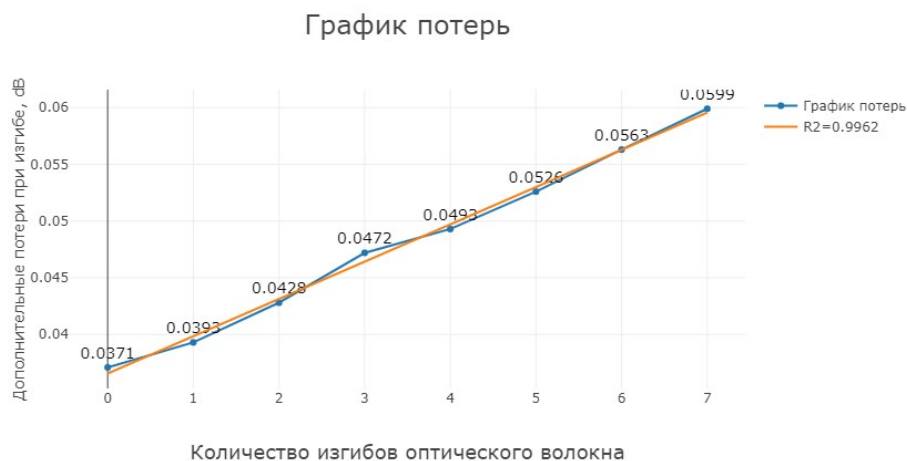


Рисунок 2 – График зависимость роста дополнительных потерь при увеличении количества изгибов ОВ при длине волны 1310 нм

Полученные данные обработаны при помощи компьютерной программы, выполняющей автоматическую аппроксимацию результатов. Была разработана программа, с помощью которой можно оценить потери в оптоволокне при множественных изгибах критического радиуса. Программа использует данные, полученные в результате проведения эмпирических исследований, и автоматически строит аппроксимации, а также проводит регрессионный анализ результатов. Окно программы приведено на рисунке 3.

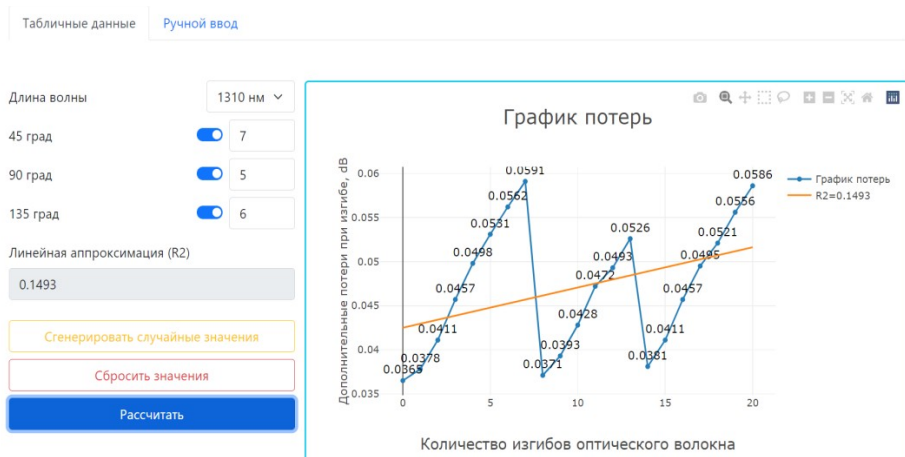


Рисунок 3 – Общий вид интерфейса

Данная программа имеет два состояния ввода, когда данные для расчёта представлены на основании результатов практических опытов и аппроксимируются автоматически или при помощи ручного ввода других данных, которые нужно обработать. Программа также может выполнять автоматическую генерацию количество изгибов в случайном порядке. Имеются кнопки для сброса результатов расчета и выполнения расчета.

В результате исследования были получены новые научно обоснованные результаты, имеющие ценность для создания автоматической системы контроля дополнительных потерь в ОВ при различных вариациях изгиба. В ходе исследования были получены множественные данные, на основании которых была построена математическая модель зависимостей потерь от количества улов, типов углов и длины волны, которая легла в основании программы. Программа позволяет рассчитать дополнительные потери на оптоволоконном кабеле при различных количествах изгибов. Если анализировать суммарные диаграммы, то при увеличении длины световой волны дополнительные потери в ОВ снижаются, а при увеличении изгибе увеличиваются. Соответственно при увеличении числа изгибов потери растут. Дана программа действует в граничных условиях длины волны от 1310 до 1625 и максимального числа изгибов не более 7. Значения задаваемых углов строго фиксированы от 45 до 135 градусов и не изменяются. Также программа позволяет автоматически аппроксимировать значения дополнительных потерь, возникающих в оптическом волокне при различной вариации различных углов изгиба и их количества. Потери при изгибе могут достигать около 0,01 дБ и более, причем они разные на разных длинах волн. Исследование дополнительных потерь позволят в будущем разработать автоматическую систему контроля, основанную на изменении показателей дополнительных потерь и при их изменениях выдавать предупреждающий сигнал о возможном несанкционированном присоединении к волоконно-оптическому кабелю.

#### Список использованной литературы

1 Бейли Д., Райт Э. Волоконная оптика. Теория и практика. М.: Кудиц-Образ, 2006. 320 с.

2 Shi-Chu Huang and Herman Lin, methods of processing counting signals and normalization of the counting level of Michelson fiber-optic interferometric sensors insensitive to polarization// Applied optics. - 2006. - Volume 45, No. 35. - pp.8832-8838.

3 A V Yurchenko, Mehtiev A.D., F.N.Bulatbayev, Yu.G.Neshina, A.D.Alkina, P.S.Madi Investigation of additional losses in optical fibers under mechanical action. III International Conference "Cognitive Robotics" IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 516 (2019) 012004 IOP publication doi:10.1088/1757-899X/516/1/012004